Por Carlos Alberto Sotille e Luis Alberto Petorutti*

Capítulo VII

Medição da resistência de aterramento e dos potenciais de superfície

Parte 1

Quando da ocorrência de uma falta para terra em uma instalação, as correntes dispersas pelo sistema de aterramento provocam o surgimento de diferenças de potencial entre pontos da superfície do solo (tensão de passo), partes metálicas aterradas da instalação e o solo (tensão de toque), circuitos que, de alguma forma estejam ligados ao sistema de aterramento e pontos distantes da superfície do solo ou outros sistemas de aterramento afastados (por potencial transferido).

A medição no campo é o procedimento mais eficaz para a verificação dos valores da resistência ôhmica do eletrodo de aterramento e dos valores dos potenciais de passo e toque calculados em projeto, para determinação de valores com finalidade de pesquisa, verificação de níveis de segurança em instalações antigas, ou ainda, em ensaios de comissionamento de instalações novas.

A norma ABNT NBR 15749 - Medição de resistência de aterramento e dos potenciais na superfície do solo apresenta dois métodos de medição: método da queda de potencial e método da queda de potencial com injeção de alta corrente.

São apresentadas as medidas de segurança que devem ser tomadas para diminuir o risco de acidentes relativos a potenciais perigos que possam ocorrer nas proximidades de sistemas de aterramento ou em estruturas condutoras aterradas. São especificados também os requisitos aplicáveis aos aparelhos destinados a medir a resistência de aterramento.

A norma aborda os procedimentos para se avaliar sistemas interligados, onde haja interesse em se verificar o comportamento do sistema de aterramento como um todo, envolvendo não só a malha, como também os cabos para-raios de linha de transmissão, neutros de alimentadores, blindagem de cabos de potência isolados e outros que, por ventura, a ela estejam ligados em condições operativas normais.

De modo a manter a continuidade do serviço, cada vez mais é necessário realizar medições com instalações energizadas. Esta situação tem mais importância quanto maior for o impacto da descontinuidade do serviço. A norma aborda as providências que devem ser adotadas para que seja possível realizar as medições sob diversos condicionantes, incluindo a escolha do método de medição, os ruídos e tensões espúrias ou de desequilíbrio a que estão sujeitas, os aspectos de segurança dos profissionais, os cuidados operativos durante a medição, a possibilidade de energização remota, a praticidade de medição e o seu escopo, seja ele voltado ao estudo de fenômenos em frequência industrial ou de transitórios.

Neste primeiro artigo trataremos da medição da resistência de aterramento.

Método da queda de potencial

O método da queda de potencial é recomendado para medição de resistência de aterramento através de equipamento específico (terrômetro).

O método consiste basicamente em fazer circular uma corrente através da malha de aterramento sob ensaio por intermédio de um eletrodo auxiliar de corrente e medir a tensão entre a malha de aterramento e o terra de referência (terra remoto) por meio de uma sonda ou eletrodo auxiliar de potencial, conforme indicado na Figura 1, em que (I) é a corrente de ensaio, (S) o borne para a sonda ou eletrodo auxiliar de potencial, (H) o borne para o eletrodo auxiliar de corrente e (E) o borne para a malha de aterramento sob medição.

Os eletrodos de corrente e de potencial são constituídos, cada um, de uma ou mais hastes metálicas interligadas e cravadas firmemente no solo, a fim de garantir a menor resistência de aterramento do conjunto.

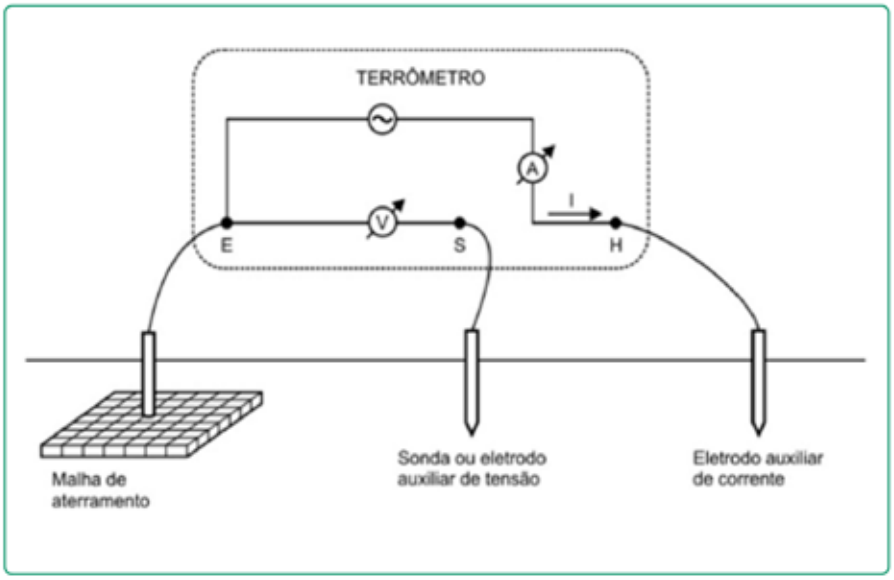

Figura 1 – Método da queda de potencial.

No processo de medição, o eletrodo de potencial deve ser deslocado ao longo de uma direção pré-definida, a partir da periferia do sistema de aterramento sob ensaio, em intervalos regulares de medição igual a 5% da distância "d " (periferia do aterramento até o eletrodo de corrente), fazendo-se a leitura do valor da resistência em cada posição. Obtém-se, assim, a curva de resistência em função da distância conforme indicado na Figura 2.

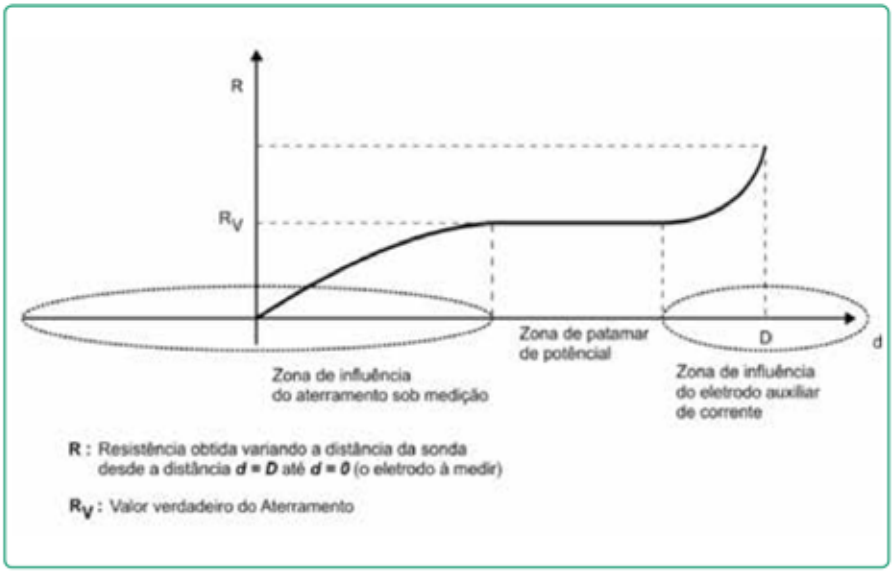

Figura 2 – Curva característica da resistência de aterramento.

Observações:

a) se o deslocamento do eletrodo de potencial (S) for coincidente com a direção e sentido do eletrodo de corrente (H), e este último estiver a uma distância satisfatória (maior que a zona de influência do sistema ensaiado (E)), é obtida uma curva semelhante à curva "a" da Figura 3;

b) se o deslocamento do eletrodo de potencial (S) for coincidente com a direção e sentido do eletrodo de corrente (H) e este último estiver a uma distância insuficiente (menor que a zona de influência do sistema ensaiado (E)), é obtida uma curva semelhante à curva "b" da Figura 3;

c) para minimizar os efeitos de acoplamento entre os circuitos de corrente e potencial, ou ainda, se for a única alternativa prática viável, caso o eletrodo de potencial (S) se deslocar na mesma direção e em sentido contrário ao eletrodo (H), para o outro lado do sistema sob ensaio (E), partindo do princípio de que o espaçamento entre (H) e (E) seja satisfatório, é obtida uma curva semelhante à curva "c" da Figura 3.

O trecho horizontal (patamar) das curvas "a" e "c" da Figura 3 representa o valor da resistência de aterramento do sistema sob ensaio.

Teoricamente, o valor da resistência de aterramento obtido com o eletrodo de potencial (S) deslocando-se em sentido contrário ao eletrodo (H) é ligeiramente menor que o real, conforme indica a Figura 3.

No método da queda de potencial, o eletrodo de corrente (H) deve estar a uma distância "d" da periferia do sistema de aterramento sob ensaio (E) de pelo menos três vezes a maior diagonal (d) deste sistema. No entanto, devem ser feitas verificações, mudando a posição do eletrodo de potencial (S), 5% de "d" para a direita (S1) e para esquerda (S2) da posição inicial (S), para garantir que as medições estão sendo executadas sem sobreposição das áreas de influência do sistema de aterramento sob ensaio e o eletrodo de corrente. Não há sobreposição entre as áreas de influência se a porcentagem entre a diferença dos valores medidos com o eletrodo de potencial em (S1) e (S2) e o valor medido em (S) não ultrapassar 10%.

Para um solo homogêneo, com sistemas de aterramento pequenos e afastamento (d) adequado entre (H) e (E), teoricamente, o deslocamento do eletrodo potencial (S) no mesmo sentido do eletrodo de corrente (H) apresenta, para um determinado ponto (Sn), distante de (E) 61,8% da distância (d), o valor verdadeiro da resistência do sistema de aterramento sob ensaio.

Para solos não homogêneos e/ou sistemas de aterramento complexos, toma-se muito difícil determinar a localização adequada de (Sn). A Figura 4 apresenta, para sistemas de aterramento pequenos, um gráfico relacionando p/d (em valores percentuais) com h/d (sendo h a profundidade da primeira camada do solo não homogêneo) para diversos valores do coeficiente de reflexão (K), dado pela relação entre a diferença e a soma das resistividades da segunda (ρ2) e da primeira (ρ1) camadas do solo [$k = (\rho 2 - \rho 1) / (\rho 2 + \rho 1)$].

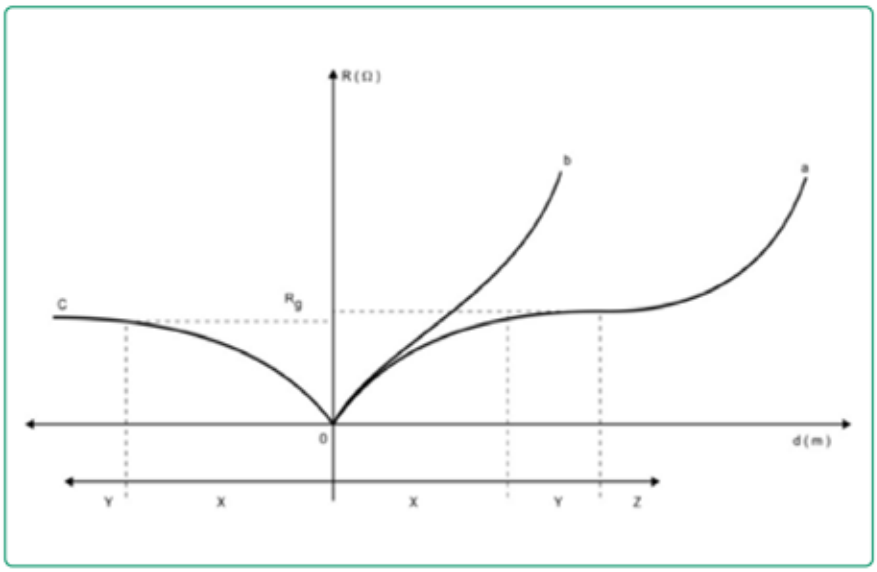

Figura 3 – Curvas típicas de resistência de aterramento em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente.

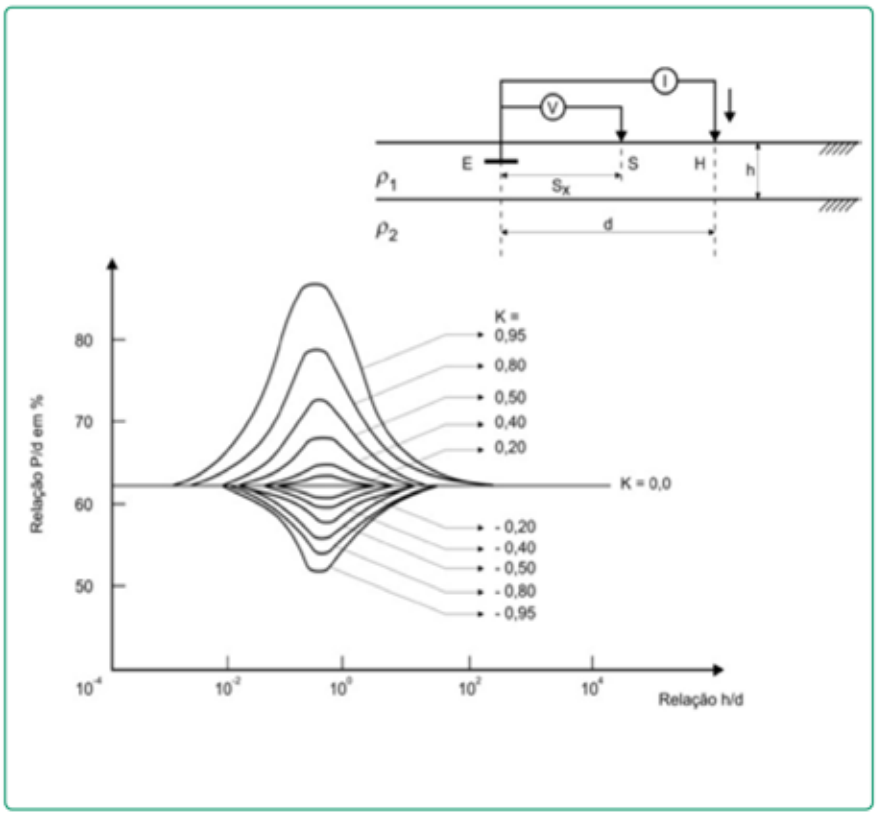

Figura 4 - Posição do eletrodo auxiliar de potencial para um solo de duas camadas

Erros de medição

A fim de se evitar / minimizar erros nos valores medidos alguns procedimentos devem ser adotados, tais como:

- A localização do eletrodo de corrente (H) deve ser tal que, ao longo do caminhamento até o sistema de aterramento (E), não existam condutores "elétricos" enterrados como, por exemplo, tubulações, contrapesos contínuos de linhas de transmissão, etc.;
- As medições devem ser executadas com os eletrodos de corrente e potencial alinhados e na mesma direção e sentido;
- Devem-se afastar fisicamente os cabos de interligação dos circuitos de corrente e potencial, reduzindo o efeito de seu acoplamento, notadamente quando se tratar de medições de resistência de aterramento com valores muito baixos, e particularmente envolvendo sistemas de aterramento de grande porte, os quais exigem grandes comprimentos de cabos para a realização das medições;
- A corrente de ensaio é função da resistência de aterramento do eletrodo de corrente. Eletrodos com poucas hastes em paralelo ou em solos de resistividades altas podem propiciar correntes baixas de ensaio incompatíveis com as correntes indicadas pelos fabricantes dos instrumentos de medição, quando definem as precisões dos mesmos. Como regra prática, a resistência de aterramento do eletrodo de corrente usualmente deve ser inferior a 500 Ω, devendo a relação entre a resistência de aterramento do eletrodo de corrente e a resistência do sistema de aterramento sob ensaio não exceder 1000: 1, sendo preferíveis relações abaixo de 100: 1;
- Potenciais galvânicos, polarização e correntes contínuas parasitas podem interferir seriamente nas medições feitas com instrumentos de corrente contínua. De modo geral, os instrumentos usados devem operam em corrente alternada (não necessariamente senoidal);
- Realizar os ensaios com uma frequência diferente das correntes alternadas parasitas presentes, circulando no solo, no sistema de aterramento sob ensaio ou nos circuitos de ensaio. Instrumentos que permitem variar a frequência da tensão aplicada são particularmente adequados para o caso; a utilização de filtros e/ou instrumentos de banda estreita são também alternativas viáveis.

Limitações na aplicação do método

Em determinadas situações torna-se muito difícil ou mesmo impossível a aplicação do método da queda de potencial. Entre estas situações, destacam-se as seguintes:

- Nas instalações urbanas em regiões densamente povoadas, frequentemente, é impossível lançar os circuitos de corrente e de potencial nas distâncias necessárias para se fazer uma medição confiável;
- Na medição da resistência de aterramento de sistemas de grande porte existe a necessidade de se estender os circuitos de corrente e potencial a distâncias muito grandes, às vezes de vários quilômetros, o que dificulta enormemente a medição. Outro aspecto importante é que estes sistemas apresentam, usualmente, resistências de aterramento muito baixas (inferiores a 1,0 Ω). Nestes casos, a incerteza quanto aos resultados obtidos em decorrência de vários fatores abordados (acoplamento, impedâncias de circuito de ensaio, sensibilidade do instrumento e outros) pode ser apreciável;

Além disso, em sistemas de aterramento de grandes dimensões, a reatância pode ser significativa quando comparada com a resistência e, neste caso, é mais adequado analisar a impedância (que é função da frequência), cuja medição deveria ser feita injetando-se correntes com frequências próximas de 60 Hz.

Nos casos de subestações onde são evidentes as limitações apresentadas acima, existe a alternativa de se utilizar como circuito de corrente uma linha de transmissão desenergizada que chegue à instalação e, como circuito de potencial, um circuito de comunicação (por exemplo, telefônico), ou mesmo uma outra linha de transmissão cuja rota seja afastada do circuito de corrente.

A segunda parte deste artigo a ser publicada na próxima edição tratará do método de injeção de alta corrente, o qual, em função dos níveis bem mais elevados de corrente injetada no sistema de aterramento, associados a procedimentos para correção dos resultados, pode propiciar medições bastante confiáveis, superando as limitações inerentes ao método da queda de potencial.

Será tratada também da medição dos potenciais de superfície (toque e passo) importantíssima na avaliação e comprovação dos valores permissíveis de segurança.

*Carlos Alberto Sotille é engenheiro eletricista, mestre em Ciências pela Coppe/UFRJ e pesquisador. Atualmente, é diretor técnico da Sota Consultoria e Projetos Ltda. e membro da CE-03:102 – Comissão de estudos "Segurança em aterramento elétrico de subestações C.A.", do Cobei.

Luis Alberto Pettoruti é engenheiro eletricista e eletrônico e pesquisador. Atualmente, é sócio fundador e diretor técnico da Megabras. É ainda membro da CE-03:102 – Comissão de estudos "Segurança em Aterramento elétrico de Subestações C.A." do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (Cobei).

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br